

Aus dem Institut für physikalische und medizinische Strahlenkunde
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Vorstand: Prof. Dr. Ing. F. Wachsmann)

**Experimentelle Untersuchungen zur Frage der
Strahlenreaktionen bei Pflanzen und Tieren nach
Verabreichung von Röntgenstrahlen extrem hoher
Dosis**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

Vorgelegt von
Djafad Kermani
aus Isfahan/Iran

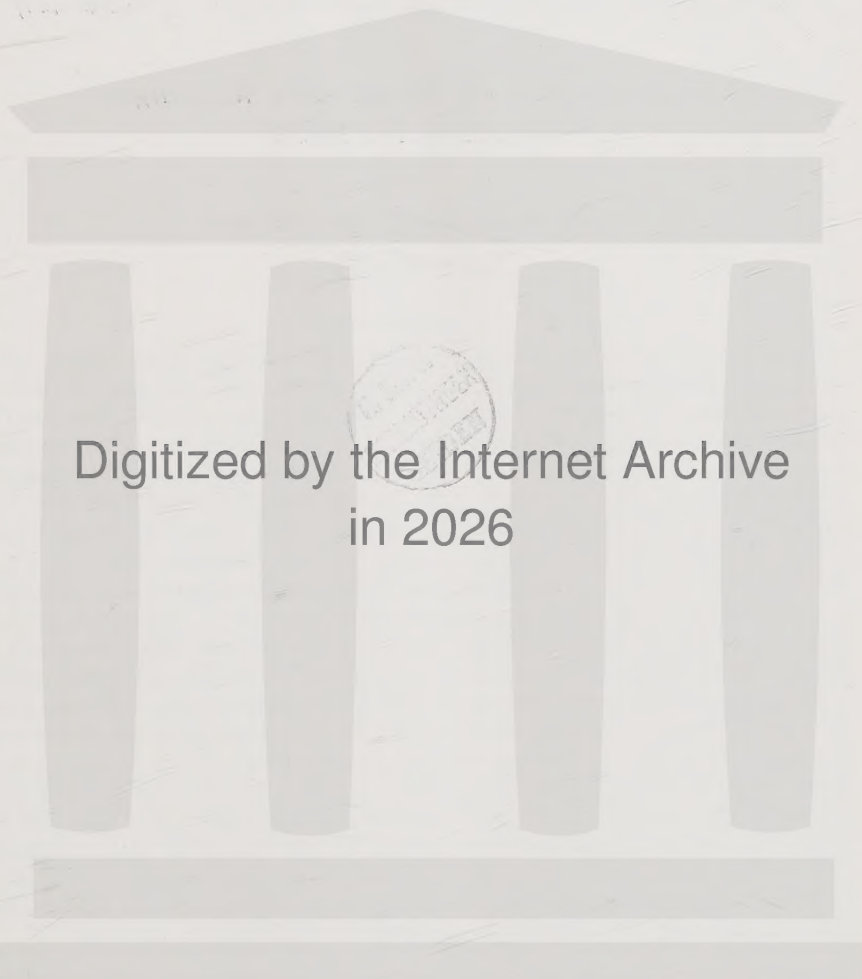
1962

Dekan: Prof. Dr. Gerhard Hegemann

Referent: Prof. Dr. Felix Wachsmann

Coreferent: Prof. Dr. Norbert Henning

Tag der mündlichen Prüfung: 22. 6. 1962



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548821_0135

Aus dem Institut für Physikalische und Medizinische Strahlenkunde
der Universität Erlangen-Nürnberg (Leiter: Prof. Dr. F. Wachsmann)

Versuche über die biologischen Wirkungen extrem hoher Dosen

Von

Felix Wachsmann und Djawad Kermani

Mit 8 Abbildungen

1. Allgemeines

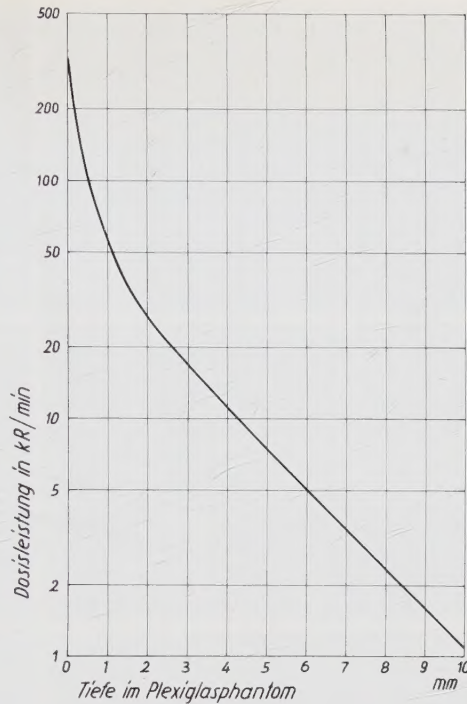
Über die biologischen Wirkungen ionisierender Strahlungen liegen, sofern von kleinen und mittleren Dosen bis zu einigen tausend Röntgen die Rede ist, unzählige Berichte vor. Die Frage aber, was geschieht, wenn Dosen von über 100 000 R bis zu mehreren Megaröntgen (MR) von biologischen Objekten absorbiert werden, ist bisher mit wenigen Ausnahmen (*Rajewsky* [1]; *Rajewsky* u. Mitarb. [2, 3]; *Hobitz, Sattler u. Rainer* [4]; *Wachsmann u. Yiannakopoulos* [5]; *Börner, Elster, Riemann u. Wachsmann* [6]) noch kaum untersucht worden. Dabei ist dieses Thema nicht nur theoretisch von Interesse, da z. B. an mit Berylliumfensterröhren ausgerüsteten Röntgenapparaturen und Teilchenbeschleunigern sowie bei Kernumwandlungen heute u. U. Dosisleistungen der Größenordnung MR/min auftreten. Bei Unfällen besteht daher durchaus die Möglichkeit, daß an derartigen Apparaturen Dosen von MR verabreicht werden.

Es schien uns also wert, unsere bereits früher begonnenen Versuche betreffend die biologische Wirkung extrem hoher Dosen an verschiedenen biologischen Objekten (*Strateff* [7]; *Hannwacker* [8]) fortzusetzen. Zweck dieser Versuche sollte es sein, über das makroskopische, mikroskopische und physiologische Verhalten der mit derartig hohen Dosen bestrahlten Objekte und über den zeitlichen Verlauf der Reaktionen wenigstens orientierend Auskunft zu erhalten. Gedacht war dabei vor allem an die Wirkungen von Lokalbestrahlungen, da die Letalwirkungen von Ganzkörperbestrahlungen vor allem durch die Untersuchungen von *Rajewsky* und Mitarb. [1–3] bereits weitgehend geklärt sind.

2. Strahlenquelle und Versuchsanordnung

Als Strahlenquelle diente uns auch diesmal eine Berylliumfensterröhre (Siemens Dermopan-Röhre), die an einem Stabilivolt mit Gleichspannung bei 55 kV mit 15 mA Röhrenstrom betrieben wurde. In einem Abstand von 4 cm vom Brennfleck wurden an dieser mit einer Siemens-Phantomkammer nach Korrektur des Sättigungseffektes (*Wachsmann* [9]) 327 000 R/min oder 0,327 MR/min gemessen. Diese hohe Dosisleistung erklärt sich vor allem durch die schwache Filterung der Röntgenröhre, die 1 mm

Abb. 1. Dosisabfall der für die Versuche verwendeten 55-kV-Strahlung einer Berylliumfensterröhre bei 4 cm Fokusabstand, gemessen in einem Plexiglasphantom.



Beryllium beträgt. Bei dieser Filterung ist die erzeugte Strahlung zwangsläufig sehr weich und heterogen. In einem Plexiglasphantom wurde ein Dosisabfall gemessen, der in Abbildung 1 dargestellt ist. Es war mit unserer Apparatur also nur möglich, sehr dünne Objekte angenähert homogen zu bestrahlen bzw. bei dickeren nur die Oberfläche mit den angegebenen hohen Dosen zu belasten.

Bei den Bestrahlungen wurde das Bestrahlungsfeld unter Verwendung eines Bleibleches von 1 mm Dicke entsprechend ausgeblendet. Das vor Strahlung zu schützende restliche Versuchsobjekt wurde außerdem mit Hilfe von 2 bis 3 mm dickem Bleiblech jeweils möglichst umhüllt, um zu vermeiden, daß durch die Streustrahlung eine ungewollte Ganzbestrahlung erfolgt.

Es mußte auch die Frage untersucht werden, ob es durch die hohen applizierten Dosen nicht zu einer Wärmeschädigung der intensiv bestrahlten Versuchsobjekte bzw. Partien kommt. Da bekanntlich eine Dosis von etwa 500 000 R einer Energieabsorption entspricht, die Wasser um 1° zu erwärmen vermag, mußte mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß es bei Dosen von 12 MR in unseren Versuchsobjekten zu Temperaturerhöhungen bis zu 24° kommt. Praktisch können die auftretenden Temperaturen allerdings nicht so hoch sein, da in der zur Bestrahlung mit der genannten hohen Dosis erforderlichen Zeit von innerhalb 30 Minuten eine Kühlung durch die umgebende Luft und besonders bei dickeren Objekten auch eine Ableitung der entstehenden Wärme in die nicht oder weniger stark bestrahlte Tiefe erfolgt. Für alle Fälle haben wir außerdem bei dem als Versuchsobjekt gewählten Froschschenkel (vgl. später) festgestellt, daß eine im Wasserbad erfolgte Erwärmung auf 40° keine feststellbaren Schädigungen erzeugt. Die durch die absorbierte Strahlenenergie hervorgerufene Temperatur-

erhöhung konnte sich gegebenenfalls also lediglich durch ihre Erhöhung der Strahlenempfindlichkeit, nicht aber als wärmebedingte Schädigung auswirken.

3. Versuchsobjekte

Als Versuchsobjekte dienten uns:

- a) Blätter der Wasserpest (*Helodea canadensis*), die den Vorteil besitzen, so dünn und durchsichtig zu sein, daß ihre Beobachtung im Mikroskop ohne Präparation *in vivo* möglich ist.
- b) Blätter der *Tradescantia virginica*, die leicht zu haben und vor allem makroskopisch gut zu beobachten waren.
- c) Braune und grüne Frösche (*Rana temporaria* bzw. *esculenta*), bei denen die Unterschenkel der hinteren Extremität bestrahlt wurden. Beobachtet wurden das Verhalten der Tiere während und nach der Bestrahlung, die Verfärbung und Veränderung der bestrahlten Stellen, die Blutzirkulation, motorische und sensible Lähmungen, die Atmung, das Blutbild, das Körpergewicht, die histologischen Veränderungen und, sofern die Bestrahlungen den Tod zur Folge hatten, die Überlebenszeiten.

4. Ergebnisse

Bei den verschiedenen Versuchsobjekten wurden je nach der Höhe der verabreichten Dosen und der Zeit zwischen Bestrahlung und Beobachtung folgende Veränderungen festgestellt, die hier in ihren wichtigsten Erscheinungsformen nur beschrieben und nicht gedeutet werden können:

a) Wasserpest (*Helodea canadensis*)

Dosen < 20 kR. Morphologisch und physiologisch keine Veränderungen; gleichbleibende Plasmaströmung auch bei einer Beobachtung über mehrere Tage.

50 kR. Leicht beschleunigte Plasmaströmung (Viskositätsverminderung?); Wachstumshemmung.

100 kR. Die Plasmaströmung, die beim abgeschnittenen unbestrahlten Blatt etwa 4 Stunden anhält, kommt hier bereits 30 Minuten nach der Bestrahlung zum Stillstand. Die Permeabilität der Zellwände ist leicht erhöht; Quellung und Vergrößerung der Zellen; Erhöhung der Lichtbrechung (Denaturierung des Eiweißes — Fritz-Niggli [10]); Wachstumsstillstand.

100 kR bis 5 MR. Die Plasmaströmung kommt mit wachsender Dosis immer früher zum Erliegen. (Bei Dosen von 500 bis 700 kR hört sie bereits während der Bestrahlung auf.) Die Permeabilität der Zellwände fällt wieder ab; mikroskopisch mit wachsender Dosis immer ausgeprägter werdende Sofortveränderung in den bestrahlten Zellen bis zum vollständigen Zellchaos bei Dosen über 1 MR (Abb. 2).

b) Blätter der *Tradescantia virginica*

Makroskopisch ergibt sich folgendes Bild: *Dosen* < 50 kR bewirken selbst längere Zeit (10 Tage und mehr) nach der Bestrahlung keine erkennbaren Veränderungen.

Bei *Dosen* von 100 kR zeigen die sonst hellgrünen Blätter während oder unmittelbar nach der Bestrahlung am Ort der Strahleneinwirkung eine dunkelgrüne Verfärbung.

Bei 200 kR und höheren *Dosen* nimmt diese Verfärbung zunächst zu. Dazu kommt aber auch noch eine Austrocknung der bestrahlten Blattstelle, die sich im Laufe von 3 Tagen bis zur vollständigen Trocknung — bei höheren Dosen des ganzen Blattes — entwickelt (Abb. 3).

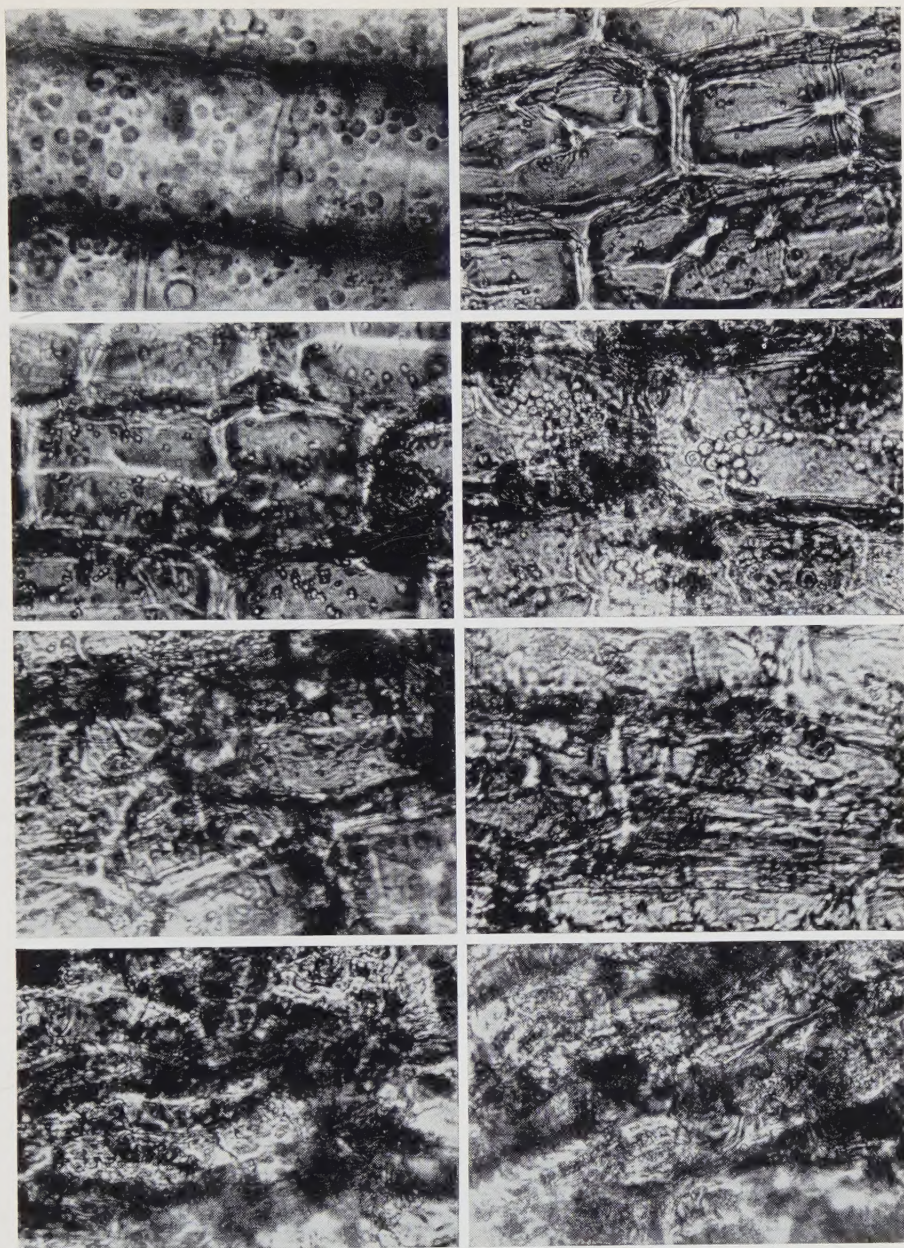


Abb. 2. Sofortreaktionen der *Helodea canadensis* unmittelbar nach der Bestrahlung bei 215facher Vergrößerung. Oben links unbestrahlt, dann fortlaufend 100, 200, 300, 750 kR und 1, 2 und 5 MR.

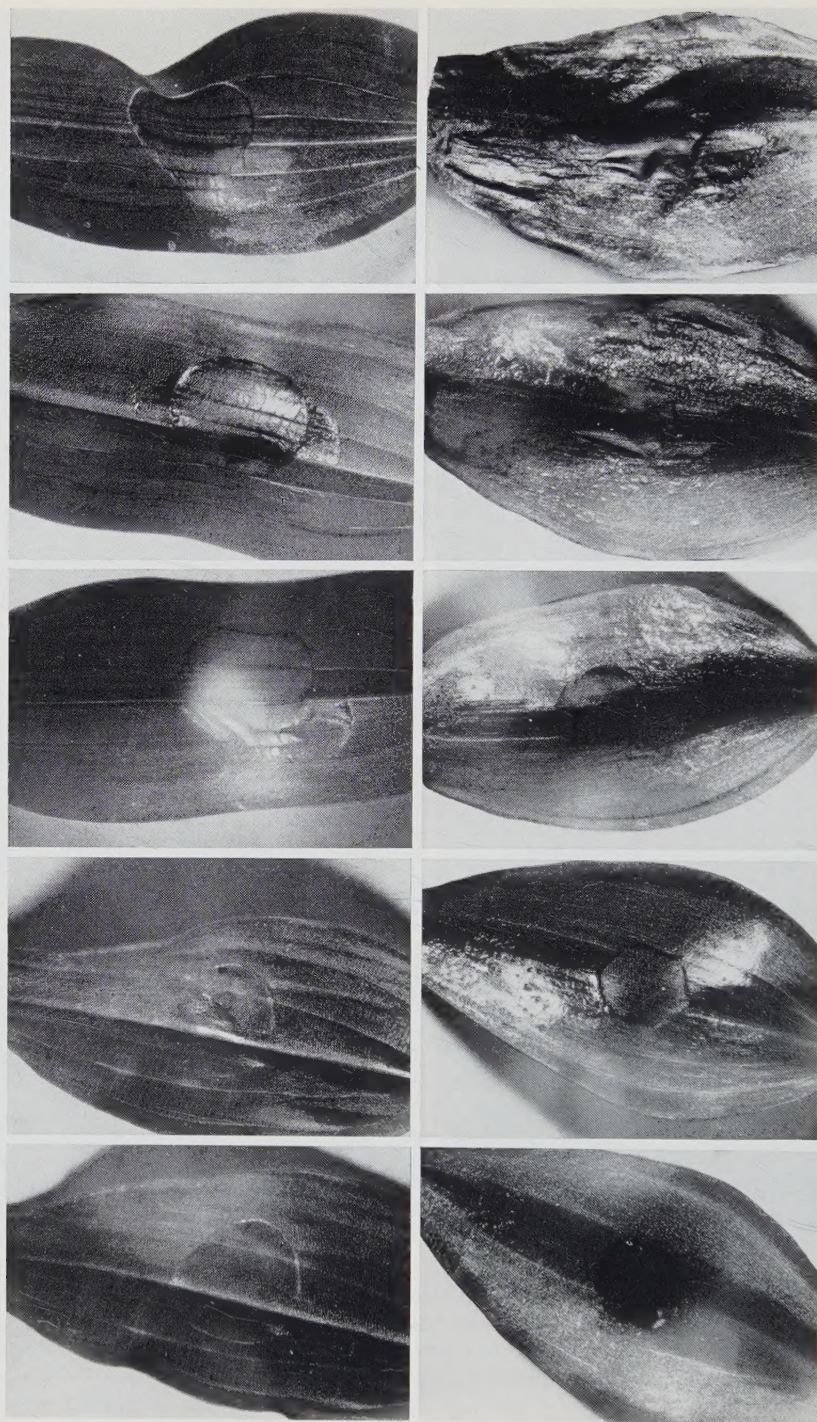


Abb. 3. Strahlenreaktionen an Blättern der Tradescantia. Oben: Bestrahlung mit 500 kR; unten: mit 1 MR durch eine Bleiblende von 6 mm Durchmesser. Von links nach rechts: unmittelbar bzw. 4, 8, 18, 36 und 150 Stunden nach der Bestrahlung.

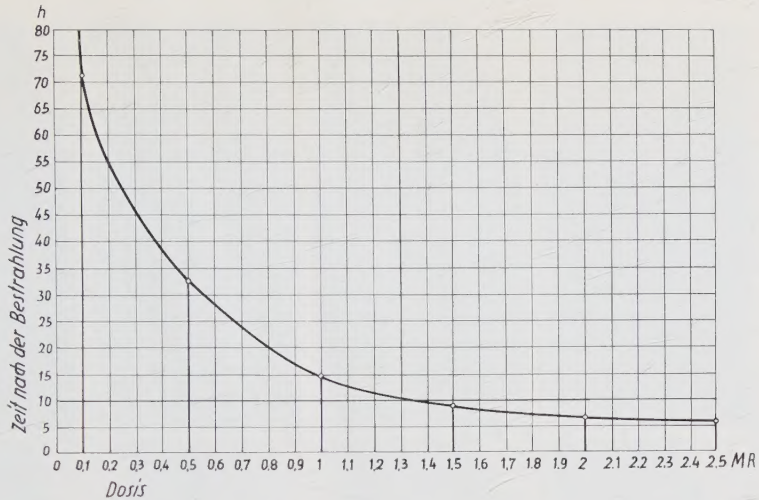


Abb. 4. Austrocknungszeit der Blätter der Tradescantia nach der Bestrahlung mit extrem hohen Dosen.

Bei Dosen über 1,5 MR nimmt die Intensität der spontanen Farbverdunklung wieder ab und wird oberhalb von etwa 2 MR von einer Aufhellung abgelöst.

Die „Austrocknungszeit“ ist von der Höhe der applizierten Dosis abhängig (Abb. 4).

Bei 3 MR ist die schwere Schädigung bereits unmittelbar nach Abschluß der Bestrahlung — die hier allerdings schon 9 Minuten dauert — zu erkennen. Die Austrocknungszeit geht auf etwa 5 Stunden zurück. Beachtenswert erscheint uns jedoch die Tatsache, daß die Schädigung und Austrocknung, die sich bei 500 kR noch genau an die Grenzen des bestrahlten Feldes halten (Abb. 3 oben), bereits bei 1 MR — und noch mehr bei noch größeren Dosen — zunehmend auf das ganze Blatt übergreifen („Strahlentoxine“? vgl. Abschn. 5).

Mikroskopisch zeigen sich folgende Veränderungen:

Erst Dosen über 50 bis 100 kR bewirken klar erkennbare Veränderungen, die vor allem in einer Quellung der Chloroplasten bestehen.

Bei 500 kR und mehr sind ähnliche Erscheinungen auch an den Zellkernen zu beobachten. Es kommt zu Riesenkernbildungen, schließlich aber auch zu einem Zerplatzen der Kerne und dadurch zu einer scheinbaren Zwei- und Mehrkernigkeit. Je höher die Dosis, um so früher treten Kernveränderungen auf, bei sehr hohen Dosen bereits während der Bestrahlung.

Dosen über 1 MR bewirken in zunehmendem Maße eine Quellung des Zellinhaltes und letztlich ein Zerreißen der Zellwände. Bemerkenswerterweise waren die Epidermiszellen weniger strahlenempfindlich als die Palisaden- und Schwammparenchymzellen.

c) Frösche (Teilkörperbestrahlungen)

Bestrahlt wurde jeweils in Gruppen von 5 bis 6 Tieren über ein Feld von 15 mm Durchmesser die Streckseite des linken Unterschenkels der hinteren Extremität. Die Dosen, die einzeln verabreicht wurden, betrugen 1 bis 12 MR, auch hier immer bezogen auf die Oberfläche. Die dabei beobachteten Reaktionen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt dargestellt, die einen schnelleren und besseren

Tabelle 1. Lokale und allgemeine Strahlensymptome bei der Lokalbestrahlung des Unterschenkels von Fröschen.

Dosis und Bestrahlungszeit		1 MR				2,5 MR				5 MR				7,5 MR				10 MR				12 MR															
Std. nach Bestrahlung		3 min				7,5 min				15 min				22,5 min				30 min				36 min															
		0	12	24	48	72	96	120	0	12	24	48	72	0	12	24	48	0	12	24	36	0	12	24	30												
Reaktionen																																					
Lokale Veränderungen																																					
Austrocknung		3	3	3	3	3	2	1	3	3	3	2	1	4	4	4	3	3	2	2	1	3	4	4	4												
Erythem		3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	2	3	3	4	2	4	4	4	4	4	4	4												
Verfärbung		1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	3	4	2	3	3	3	4	4	4	4												
Ödem		4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	3	1	0	1	0	4	3	3	2	3	3	3	2												
Epidermis		0	0	1	1	2	3	3	1	2	3	4	3	2	3	4	4	3	4	4	4	4	4	5	5												
Blasen		3	3	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	2	2	3	4	4	3	3	4	3	2												
Nekrose		0	0	0	0	1	2	3	1	1	2	3	3	1	2	3	4	2	2	3	4	3	4	4	4												
Ulkus		0	0	0	0	1	2	3	0	1	2	3	4	1	3	3	4	2	3	4	4	3	4	4	5												
Blutgefäße		0	0	1	1	1	1	2	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	4	5	3	3	4	5												
Allgemeine Beobachtungen																																					
Allgemeinzustand		0	0	1	1	2	3	4	1	2	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	5												
Gewichtsverlust in Prozent		3	5	5	10	10	15	20	10	15	20	25	30	10	15	25	30	10	15	20	35	15	20	30	40												
Blutzirkul. in d. Schwimmhäuten		0	0	0	1	1	1	1	0	1	2	3	4	2	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4												
Motorische u. sensible Lähmung.		0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3												
Atmung		1	0	0	0	1	2	3	3	2	1	1	2	1	2	3	3	1	1	2	3	3	3	3	3												
(T=Tachypnoe, B=Bradypnoe)		T	0	0	0	0	B	B	T	T	T	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B												
Blutbild		1	0	1	0	0	0	0	3	0	3	0	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0												
Histologische Veränderungen		0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	5												
Mittlere Überlebenszeiten (Std.)		155								108								72								40								30			
Grad der beobachteten Veränderungen:																																					
0 = keine Veränderungen																																					
1 = schwache Veränderungen																																					
2 = mittlere Veränderungen																																					
3 = starke Veränderungen																																					
4 = sehr starke Veränderungen																																					
5 = Nekrose																																					

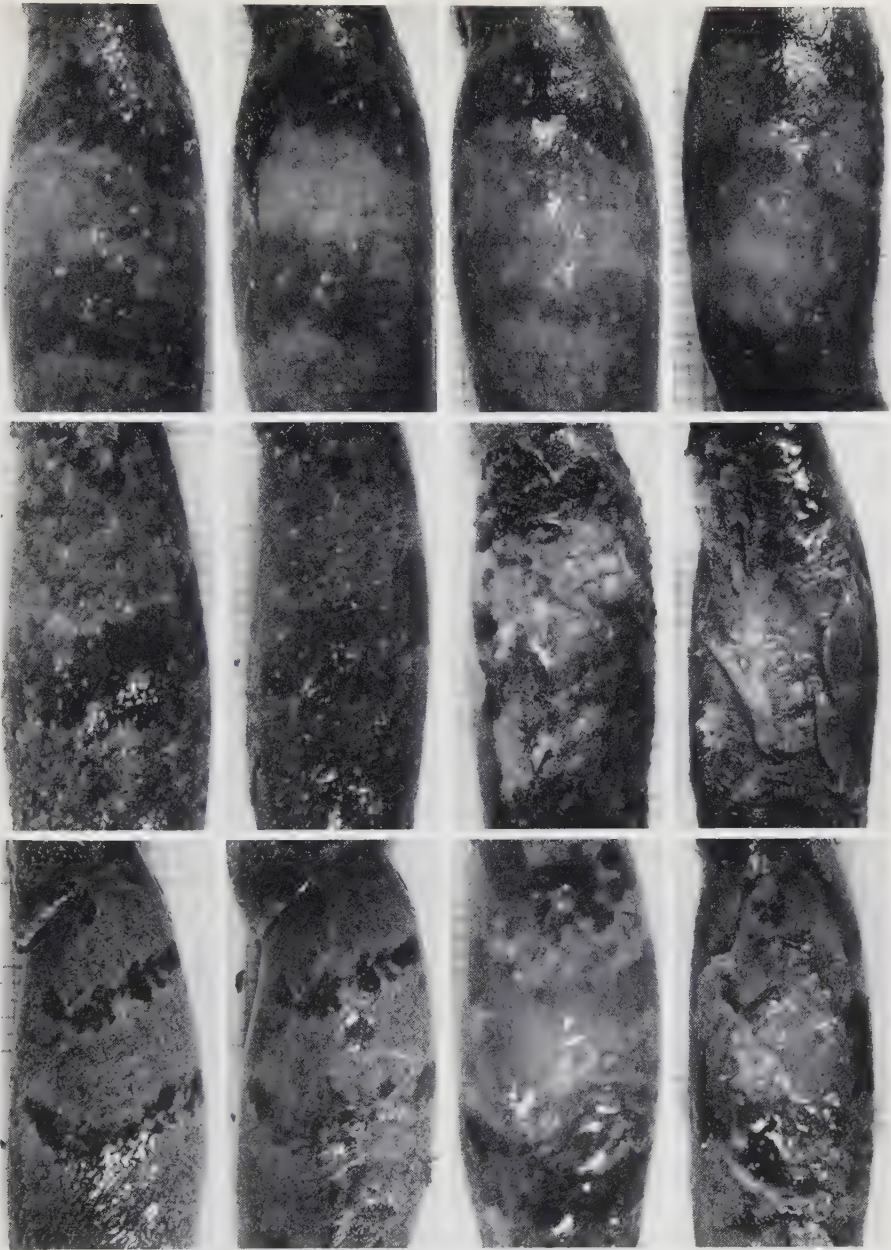


Abb. 5. Reaktionen der bestrahlten Froschschenkel nach der Bestrahlung mit Dosen von 1 (oben) und 5 MR (Mitte) von links nach rechts vor der Bestrahlung bzw. 24, 48 und 72 Stunden nach der Bestrahlung sowie 10 MR (unten) vor der Bestrahlung bzw. unmittelbar und 12 sowie 24 Stunden nach der Bestrahlung.

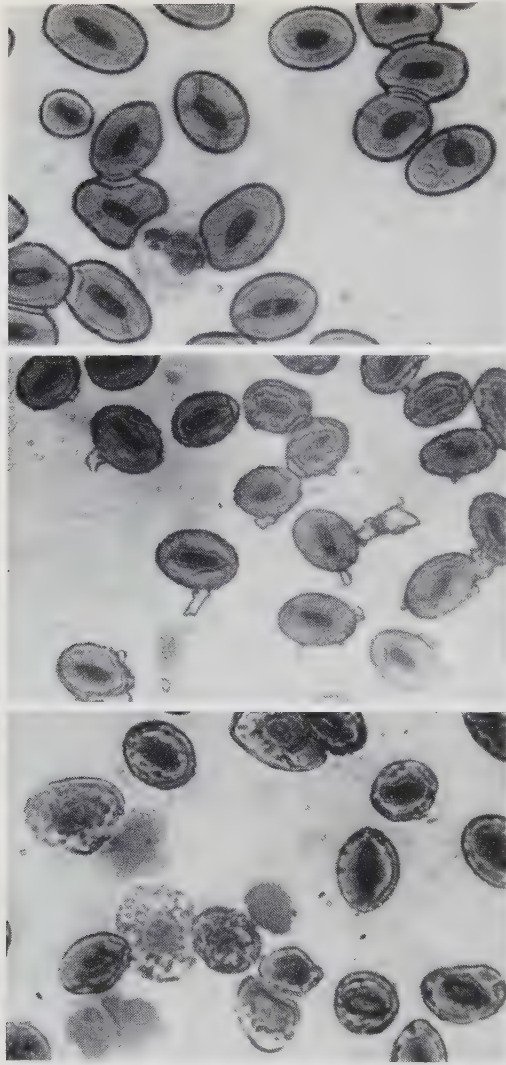


Abb. 6. Blutbildveränderungen nach der Lokalbestrahlung eines Froschschenkels mit 5 MR. Oben: Vor der Bestrahlung; Mitte: unmittelbar, unten: 24 Stunden nach der Bestrahlung.

Überblick ermöglicht als lange Beschreibungen. Außerdem sind der besseren Anschaulichkeit wegen in der Abbildung 5 einige Phasenbilder der Reaktionen nach der Bestrahlung mit verschiedenen Dosen verschieden lange Zeit nach der Bestrahlung gezeigt.

Abbildung 6 zeigt die beobachteten Blutbildveränderungen bei Bestrahlung eines Froschschenkels mit 5 MR. Es muß offen gelassen werden, ob diese Schädigungen als Direktwirkungen auf die während der Bestrahlung unter dem Bestrahlungsfeld hindurchfließenden roten Blutkörperchen aufzufassen sind oder als indirekte Allgemeinwirkung. Gegen die erste Möglichkeit sprechen die gleichmäßige Schädigung aller Erythrozyten und das Fehlen ungeschädigter Blutelemente.

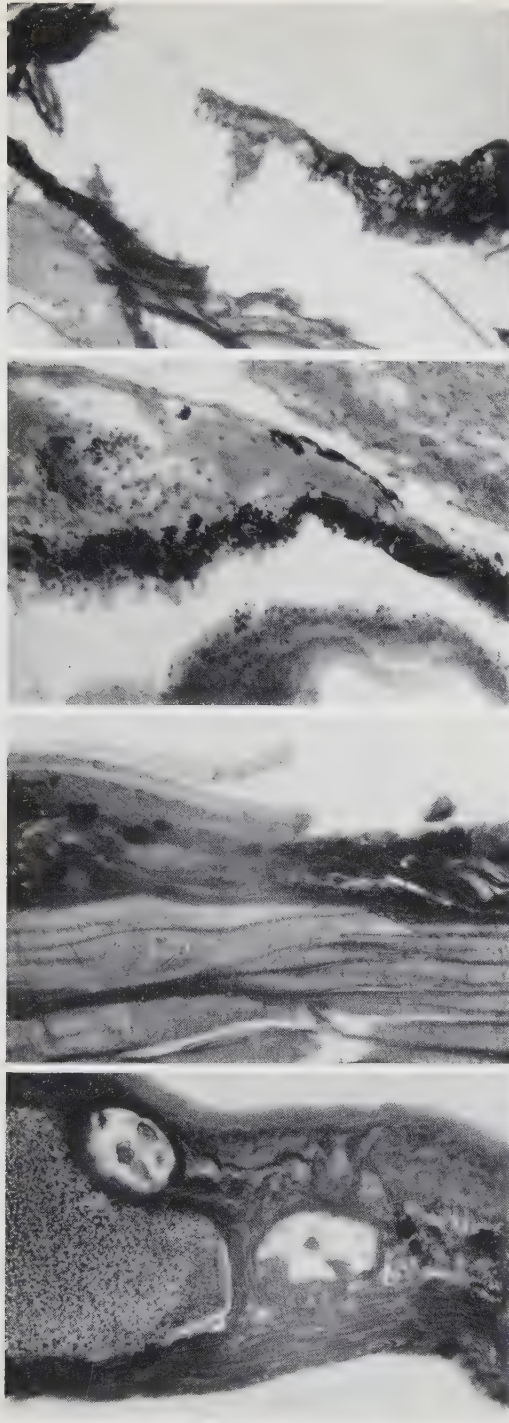


Abb. 7. Mikrophotogramme der Froschschenkel von links nach rechts in der Reihenfolge: unbestrahlt, mit 1, 5 bzw. 10 MR bestrahlt; Gewebestücke jeweils vor dem Exitus entnommen und fixiert.

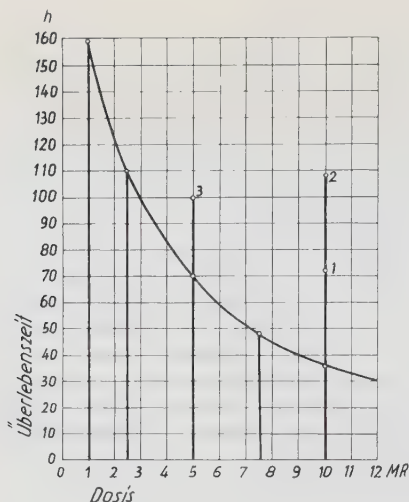


Abb. 8. Überlebenszeit der Frösche nach Bestrahlung mit extrem hohen Dosen (Teilkörperbestrahlung des Unterschenkels). Ausgezogene Kurve: Ohne besondere Behandlung des Unterschenkels; Meßpunkte:

- 1 = Das bestrahlte Bein wurde nach der Bestrahlung amputiert;
- 2 = das bestrahlte Bein wurde vor der Bestrahlung abgebunden;
- 3 = das bestrahlte Bein wurde vor der Bestrahlung abgebunden, die Abbindung gleich nach der Bestrahlung gelöst und das Bein nach 30 min, 10 bzw. 20 Std. amputiert.

Abbildung 7 schließlich zeigt einige Beispiele der beobachteten histologischen Veränderungen der bestrahlten Froschschenkel nach der Bestrahlung mit Dosen verschiedener Höhe.

Im mikroskopischen Bild zeigen sich alle Erscheinungen, die makroskopisch erkennbar sind. Der mikroskopische Befund eilt dem makroskopischen jedoch insofern voraus, als sich im Präparat bereits schwere Zellschäden abzeichnen, wenn makroskopisch noch keine größeren Schäden erkennbar sind.

Alle mit Dosen von 1 bis 12 MR bestrahlten Tiere zeigten ausnahmslos die erwähnten Erscheinungen und kamen nach einer mit wachsender Dosis kürzer werdenden Zeit ad exitum. Die Überlebenszeit betrug in Abhängigkeit von der Strahlendosis und den Versuchsbedingungen 30 bis 160 Stunden (Abb. 8, ausgezogene Linie).

5. Überlegungen und Versuche zum Problem der Radiotoxine

Näher zu untersuchen war noch, warum unsere mit hohen Dosen bestrahlten Versuchstiere sämtlich in einer je nach der applizierten Dosis mehr oder weniger langen Zeit ad exitum kamen. Der Tod der Versuchstiere war an sich nicht im voraus zu erwarten, da es sich bei der Bestrahlung eines Unterschenkels keineswegs um die Ausschaltung eines lebensnotwendigen Organs handelt. Zwar wissen wir von Hug [11], daß die „Infektionsgefahr den gesamten Ablauf der Strahlenkrankheit begleitet, teils nur als drohende Zufallskomplikation, teils aber auch als einfach zwangsläufig das Krankheitsbild und die Mortalität beherrschendes Ereignis“. Der Tod ist bei unseren Versuchstieren, besonders bei denjenigen, die mit sehr hohen Dosen bestrahlt worden waren, aber so frühzeitig eingetreten (30 bis 40 Stunden), daß für die Ausbildung einer tödlichen Infektion kaum Zeit vorhanden war. Es muß also eine andere Todesursache gesucht und gefunden werden, wobei wir wieder in Übereinstimmung mit Hug [11], ganz allgemein ausgedrückt, an „Strahlentoxine“ denken. Hug äußert sich zu diesem Problem folgendermaßen: „Die Frage der sog. Radiotoxine ist noch immer eines der ungelösten und spannendsten Kapitel der Strahlenbiologie. Zwar werden immer neue Beobachtungen gemacht, die man mit Annahme besonderer, in den bestrahl-

ten Geweben gebildeter und auf dem Blutwege übertragener Substanzen erklären zu können glaubt. Jedoch ist es noch nicht gelungen, wirklich eine Substanz zu finden oder zu identifizieren, die imstande ist, Fernwirkungen auf unbestrahlte Gewebe oder auf unbestrahlte Organismen im ganzen auszuüben (z. B. *Fochem* [12], *Scheitanov* [13]).

Um der Todesursache unserer Versuchstiere wenigstens etwas näher zu kommen, setzten wir noch einige Versuchsserien an, die den Zweck hatten, Aussagen über die Zeit der Entstehung und Ausbreitung evtl. gebildeter Radiotoxine zu machen. Zu diesem Zweck wurden jeweils 5 Frösche unter den nachstehend genannten Bedingungen mit folgender Zielsetzung und den kurz beschriebenen Ergebnissen bestrahlt (vgl. Abb. 8, eingezeichnete Meßpunkte 1 bis 3).

1. Bestrahlung mit 10 MR und sofortige Amputation der bestrahlten Extremität im proximalen Drittel des Oberschenkels, um eine evtl. Intoxikation, die vom bestrahlten Gewebe ausgehen könnte, auszuschalten. Tatsächlich leben diese Frösche nicht nur 35 Stunden wie die nicht amputierten, sondern im Mittel 72 Stunden.
2. Weitere 5 Tiere wurden ebenfalls mit 10 MR bestrahlt, wobei die bestrahlte Extremität aber im proximalen Drittel des Oberschenkels abgebunden war. Diese Maßnahme hatte den Zweck zu verhindern, daß zirkulierendes Blut mitbestrahlt und geschädigt wurde. Die Ligatur wurde unmittelbar nach der Bestrahlung gelöst. Ergebnis dieses Versuches war, daß die Tiere jetzt noch länger, und zwar im Mittel 108 Stunden, überlebten.
3. Weitere 5 Tiere wurden, wie unter 2. beschrieben, bei abgebundener und durch Ausdrücken blutleer gemachter Extremität, und zwar diesmal mit Dosen von 5 MR, bestrahlt. Zum Unterschied von 2. wurden die bestrahlten Extremitäten jedoch diesmal im Anschluß an die Bestrahlung amputiert, und zwar bei 2 Versuchstieren 30 Minuten nach Beendigung der Bestrahlung, bei 2 weiteren Tieren 10 Stunden und beim letzten Tier 20 Stunden später. Dieser Versuch wurde gemacht, um Auskunft über den Zeitpunkt der Ausschüttung des hypothetischen Radiotoxins zu erhalten. Das Ergebnis war, daß alle Versuchstiere zwar etwas später als die nur bestrahlten, aber alle etwa zur gleichen Zeit, d. i. etwa nach 100 statt bereits nach 70 Stunden, starben.

Aus diesen selbstverständlich nur roh orientierenden Versuchen glauben wir schließen zu können, daß die Radiotoxine — falls es solche überhaupt gibt — während der Bestrahlung entstehen und sehr bald ausgeschüttet werden.

6. Schlußfolgerungen

Die bemerkenswertesten Feststellungen, die aus den Ergebnissen unserer Bestrahlungen mit extrem hohen Dosen folgen, scheinen uns folgende zu sein:

1. Je höher die Dosis, um so kürzer die bis zum Manifestwerden der Strahlenreaktion verstreichende Zeit. Bei hohen Dosen können schon während der Bestrahlung — die bei der von uns benützten Apparatur bei der Verabreichung von Dosen von 12 MR allerdings bis zu 36 Minuten dauerte — sehr schwerwiegende Zerstörungen auftreten (vgl. z. B. Abb. 2). Es wäre von Interesse, mit noch leistungsfähigeren Strahlenquellen sehr hohe Dosen in möglichst kurzer Zeit zu verabreichen, um feststellen zu können, ob auch Sofortwirkungen möglich sind oder ob immer eine gewisse Latenzzeit übrig bleibt.

2. Die Strahlenwirkungen reichen bei pflanzlichen Versuchsobjekten, insbesondere bei der Verabreichung sehr hoher Dosen, über das Bestrahlungsfeld hinaus. Während es bei 500 kR, beispielsweise beim Blatt der *Tradescantia*, nur zu einem der Feldgröße genau entsprechenden Defekt kommt, verwelkt bei 1 MR bereits das ganze Blatt (Abb. 3). Schon diese Erscheinung läßt die Entstehung von „Radiotoxinen“ möglich erscheinen.
3. Im Tierversuch kommt es bei der Bestrahlung auch nicht lebensnotwendiger Organe bzw. Körperabschnitte zu einer Abtötung der Versuchstiere. Auch dies läßt in Anbetracht der bei der Amputation bzw. Abbindung der bestrahlten Extremitäten gemachten Beobachtungen auf die Entstehung von Radiotoxinen schließen.

Es wäre sicher von Interesse, diesen Radiotoxinen weiter nachzugehen, da über ihren Charakter z. Z. noch so gut wie gar nichts bekannt ist.

Zusammenfassung

Es wird über die Ergebnisse der Bestrahlung pflanzlicher und tierischer Objekte mit Dosen bis zu 12 Megaröntgen (MR) berichtet. Die dabei beobachteten makroskopischen und mikroskopischen Veränderungen werden beschrieben. Da die Strahlenwirkungen bei pflanzlichen Objekten über das bestrahlte Feld hinausgehen und bei den bestrahlten Tieren auch bei Teilbestrahlungen nicht lebenswichtiger Körperabschnitte zum Tode der Tiere führen, wird auf das Auftreten von „Radiotoxinen“ geschlossen.

Summary

Effects obtained by irradiating plants and animals with doses up to 12 Mega-roentgens (MR) are reported. The macroscopic and microscopic changes observed are described. Since radiation effects in plants occur beyond the irradiated area and death is even caused in animals of which life unimportant organs were irradiated only, the presence of "radiotoxins" is assumed.

Résumé

Les auteurs communiquent les résultats de l'irradiation de plantes et d'animaux avec des doses atteignant 12 Megaröntgen (MR). Ils décrivent les changements macroscopiques et microscopiques qu'ils observent. Vu que l'action des radiations s'étend pour la plante au-delà du champ irradié et que chez l'animal, même lors d'irradiation de segments du corps sans importance vitale, cette action détermine la mort de l'animal, ils concluent à l'existence de "radiotoxines".

Schrifttum

1. *Rajewsky, B.*: Strahlendosis und Strahlenwirkung. Stuttgart 1956. — 2. *Rajewsky, B., K. Aurand u. O. Heuse*: Z. Naturforsch. 8b (1953): 524. — 3. *Rajewsky, B., O. Heuse u. K. Aurand*: Strahlentherapie 95 (1954): 513. — 4. *Hobitz, H., L. Sattler u. O. Rainer*: IX. Internationaler Radiologen-Kongreß, Bd. II. Stuttgart und München-Berlin 1961. — 5. *Wachsmann, F., u. A. Yiannakopoulos*: Strahlentherapie 100 (1956): 428. — 6. *Börner, W., K. Elster, H. Riemann u. F. Wachsmann*: Strahlentherapie 114 (1961): 48. — 7. *Strateff, L.*: Diss. Erlangen 1951. — 8. *Hannwacker, G.*: Diss. Erlangen 1953. — 9. *Wachsmann, F.*: Strahlentherapie 97 (1955): 113. — 10. *Fritz-Niggli, H.*: Strahlenbiologie, Grundlagen und Ergebnisse. Stuttgart 1959. — 11. *Hug, O.*: Strahlenbiologie, Strahlentherapie, Nuklearmedizin und Krebsforschung. Stuttgart 1959. — 12. *Fochem, K.*: Strahlentherapie 121 (1963): 124. — 13. *Scheitanov, G.*: Radiobiol. Radiother. (Berl.) 2 (1963): 159.

Lebenslauf

Als viertes Kind des Rechtsanwaltes Djafad Kermani und dessen Ehefrau Malik, geb. Kermani, wurde ich am 20. 3. 1928 in Isfahan im Iran geboren.

Ich besuchte die Schulen in Isfahan und erwarb 1948 das Abitur.

Nach einem Studium von 1948 bis 1952 an der Fachschule für Medizin in Isfahan erhielt ich nach bestandener Abschlußprüfung das Diplom des Lizenzgrades für Medizin.

Danach arbeitete ich als praktischer Arzt im Auftrage der persischen Regierung fünf Jahre in einem Ambulatorium des Gesundheitsministeriums.

Ab WS 1957 war ich ordentlicher Studierender an der Medizinischen Fakultät der Universität zu Erlangen, wo ich 1959 die Kolloquiumsprüfung zur Anerkennung der iranischen Dokumente und nach weiteren 2 Semestern das medizinische Staatsexamen bestand.

Nach viermonatiger Beschäftigung an der Medizinischen Klinik der Universität zu Isfahan kehrte ich nach Deutschland zurück, um hier meine Ausbildung zum Facharzt für Röntgenologie und Strahlenheilkunde zu beginnen. Seit 1. 10. 1961 arbeite ich in der strahlentherapeutischen Abteilung der Medizinischen Klinik der Universität Erlangen. Außerdem bin ich ebenfalls seit Anfang Oktober 1961 am Institut für physikalische und medizinische Strahlenkunde zu Erlangen bei Herrn Prof. Wachsmann mit der Abfassung einer Dissertation beschäftigt.

Ich bin seit 1954 verheiratet und habe 3 Kinder. Meine Familie lebt mit mir in Deutschland.

